

TNO의 3D 관련 연구와 의류산업에서의 활용방안

홍성애 · Hein Daanen

한성대학교 의류패션산업, TNO Human Factors

3D Scan Related Research in TNO and Its Application for Apparel Industry

Sung-Ae Hong and Hein Daanen

Apparel Fashion and Business, Hansung University
Dept. of Performance & Comfort, TNO Human Factors

1. 서 론

TNO(Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek)는 그 산하에 TNO Human Factors, TNO Prins Maurits, TNO Industry 등 15개 연구소들을 두고 있으며, 각각 그들의 분야에서 매우 뛰어난 전문성을 발휘하고 있다. 이들은 프로젝트 지향적인 광범위한 지식 기반을 활용하여 학제간 연구가 매우 활발하며 TNO 전체적으로 시너지 효과를 얻을 수 있게 하고 있다. 여기에서 현재 5200명이 넘는 인원이 매우 활발하게 연구하고 있는데 의류분야를 포함한 곳으로는 유럽에서 매우 규모가 큰 연구기관이다. 또한 TNO는 현재 유럽뿐만 아니라 미국의 Detroit, 일본의 Tokyo 등에도 있어서 다양한 국제 프로젝트들도 매우 효율적으로 활발하게 수행하고 있다.

TNO는 그동안 국가적으로 매우 중요한 수많은 사업에 참여해 왔고, 또한 많은 정부 부처들의 주 연구기관으로서의 역할을 계속 수행하고 있다. 의복구성 분야에서는 일찍이 NedScan 3D 인체계측 사업을 주관하여 수행한 바 있고 그 결과를 현재 100개가 넘는 업체에서 활용하고 있으며 이는 여성복, 남성복 등의 기성복은 물론 특수복 등을 위한 다양한 치수 체계로 개발되어 매우 활발하게 사용되고 있다. 또한 이러한 3D 인체 스캔 데이터를 이용하여 MTM의복 개발 및 디지털 휴먼 모델링 등 다양한 분야에서도 그 결과를 활용하고 있다. 그리고 미국 NIST (National Institute of Standards and Technology)의 WEAR

(World Engineering Anthropometry Resource)에 3D 인체계측 데이터 베이스를 제공하고 있어 전 세계에 걸쳐 인체계측 전문가나 관련분야 규격 제정 등에 참고자료로 활용 가능하게 하고 있다. 또한 TNO는 수년간 국방분야의 기술과학 및 정보의 축적, 실질적 응용을 위하여 국방부의 전략적 파트너 역할을 담당해 오고 있어 일반 기성복은 물론 첨단 특수복 개발 및 평가 분야에서 매우 독보적인 연구활동을 수행하고 있다. USAF, US Navy 등과 같은 미국은 물론 국제적인 여러 국방 산업체들 및 NATO 등도 TNO와 매우 활발하게 연구 프로젝트들을 수행해 오고 있는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 3D 스캔 인체계측 디지털 기술 및 활용 방안과 관련하여 이 분야에서의 연구가 매우 활발한 TNO에서의 최근 연구 결과들을 다양하게 고찰하여 소개하고, 그러한 연구 결과들이 국내 기성복, MTM 의복, 특수복 등 다양한 의복구성 분야에서 활용될 수 있도록 하고, 더 나아가 디지털 휴먼 모델링 등 그 활용 방안들을 광범위하게 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 3D 스캔 인체계측

TNO Human Factors에서는 3D 인체 스캔을 위하여 Vitronic Viro Pro 3D whole body scanner[Fig. 1]를 사용하고 있는데, 이는 16개의 depth cameras와 4개의 color

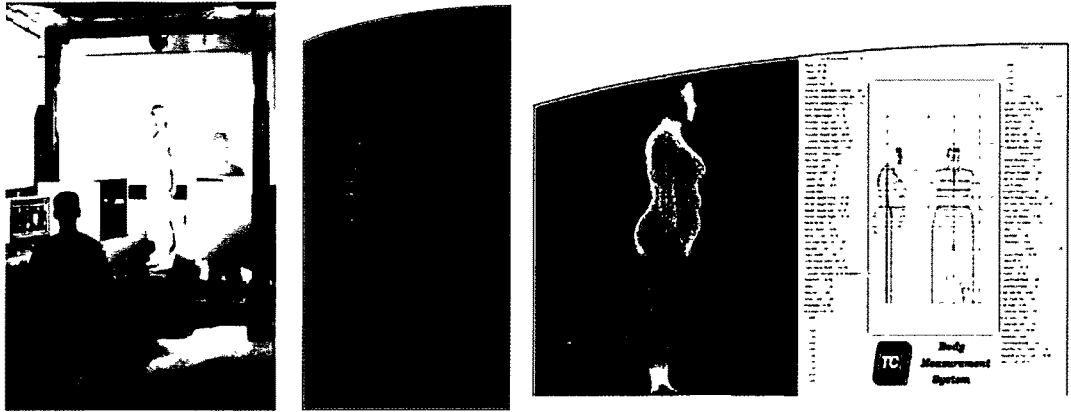


Fig. 1. Vitronic viro pro 3D whole body scanner (<http://www.vitronic.com>) and BMS (<http://www.tc2.com>)

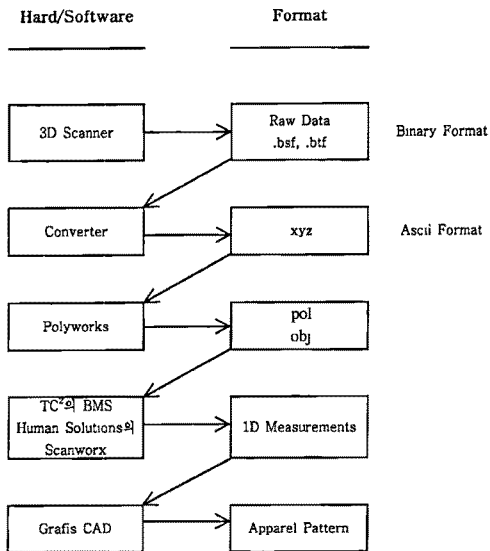


Fig 2. Analysis process of 3D scanned data

cameras로 구성되어 있다. 스캔된 데이터는 binary format으로 1개의 points of cloud file (*.bsf)과 4개의 texture files (*.btf)로 생성된다. 이러한 files는 converter를 이용하여 ascii format (*.xyz)으로 변환된다.

2.2 3D Scan Data 분석법

3D 스캔 데이터는 미국 TC²의 BMS와 독일 Human Solutions의 Scanworx 등을 이용하여 자동 1D Measurements 추출이 가능하고, 독일의 Grafis Pattern CAD, Scanworx, 미국 TC²의 BMS 등을 같이 이용하여 MTM 의복 개발에 응용하고 있다. 또한 인체와 의복의 Surface Area 산정을 위하여는 Polyworks를 이용하고, 의복의 Volume 산출을 위하여는 Integrate 등을 사용하고 있다.

그 결과 의복의 맞춤새 극대화를 위한 다양한 의류 제품의 치수 체계 및 MTM 의복 개발, 디지털 휴먼 모델링 등 매우 활발하게 3D 스캔 인체 데이터를 활용하고 있다. [Fig. 2]는 이러한 일련의 3D 스캔 데이터 분석 과정을 보여주고 있다.

3. 연구결과

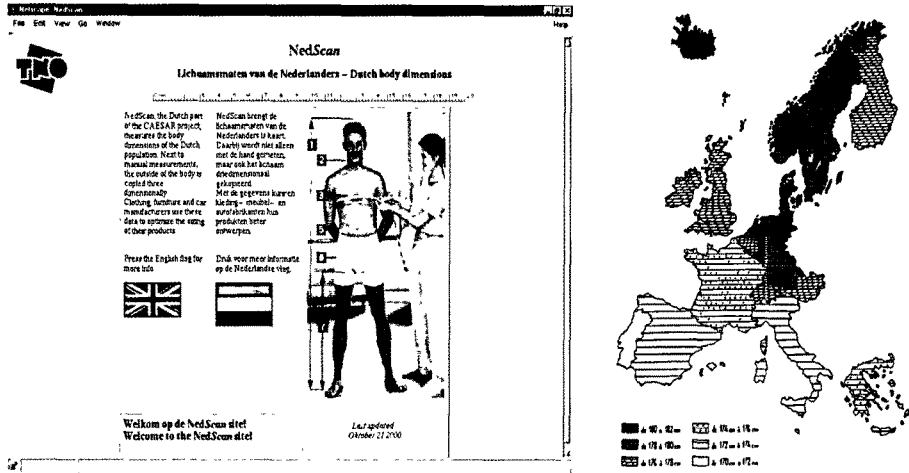
3.1 NedScan-3D 인체계측 프로젝트

TNO에서는 다양한 분야에서 새로운 기술을 모색하고 개발할 뿐만 아니라 이를 의류산업체 등 실제 산업에 적용할 수 있는 방안을 계속 꾸준히 마련해 오는 것이 특징이다. 이미 잘 알려진 바와 같이 의복구성 분야에서는 최초로 이태리, 미국 등 여러 국가들을 대상으로한 다국민 3D 인체치수 사업인 CAESAR Project를 TNO가 같이 공동 수행하였고, 특히 평균 성인 남성 신장이 182 cm로 서구에서 가장 키가 크고, 현재에도 계속 평균 신장이 증가하고 있는 자국민들을 위한 3D 인체치수 사업인 NedScan Project (<http://www.nedscan.nl>)를 주관하여 수행한 바 있다 (Fig. 3).

3.2 치수체계 개발

의류제품 생산업체에서 인체계측치는 의류제품 생산의 출발점이라고 할 수 있다. NedScan 프로젝트의 결과인 3D 인체 계측 데이터는 100개가 넘는 회사에 판매되어 활용되고 있는데 이는 여성복, 남성복 등의 일반 기성복은 물론 특수복 등 다양한 의류제품의 치수 체계 등 [Table 1]으로 개발되어 활발하게 사용되고 있다.

가령, 남자 체형을 키에 따라 168, 176, 184, 192 cm와



(Source: Holtrop, France)

Fig. 3 Nedscan project and height in average for male adults in Europe

같이 4그룹으로 나누고, drop치에 따라 -15, -10, -5, 0과 같이 4그룹으로 나누게 되면 [Fig. 4]와 같이 총 16그룹으로 나누어지게 되고, 총 인구의 82%가 이 범주에 속하게 된다. 이러한 16그룹 중 각 의류업체는 소비자 대상에 따라 필요한 집단을 선정하여 활용하고 있다.

기성복은 물론 군복의 치수체계 개발도 적은 개수의 치

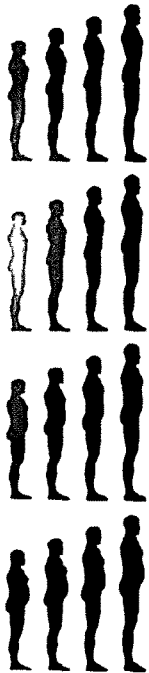


Fig 4. Body types of Dutch men

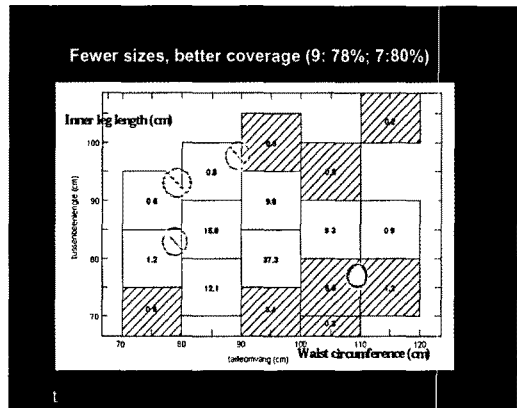


Fig. 5. Military sizing for NATO combat trousers

수들로 커버율을 높이는 것이 목표이다. NATO 군복 바지의 치수는 허리둘레와 inner leg length에 따라 만들어지는데 [Fig. 5]에서 흰색 부분은 NATO 군복 바지에 대한 기존의 9개 치수를 보여주고 있다. NedScan project의 결과를 활용하여 [Fig. 5]에 제시된 바와 같이 기존 치수 중 3개의 치수를 없애고 다른 새로운 치수 1개를 만들어 주면 전체 치수는 기존의 9개 치수에서 7개 치수로 줄어들면서도 커버율은 78%에서 80%로 증가할 수 있게 된다.

3.3 MTM 의복 개발

국내는 물론 유럽, 미국 등의 의복구성분야에서 매우 활발한 연구가 진행되고 있는 MTM 의복 개발을 TNO에서는 3D 스캔 결과를 이용하여 잘 수행한 바 있다. 이렇게 개발된 MTM 의복의 특징 중 하나는 소비자가 각 의류업

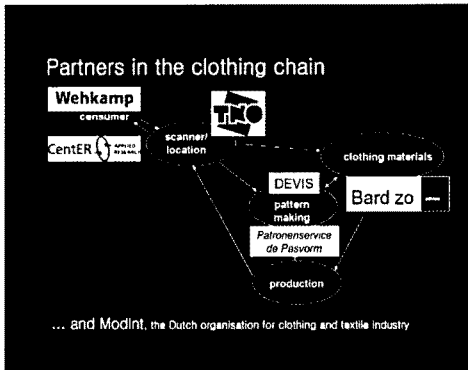
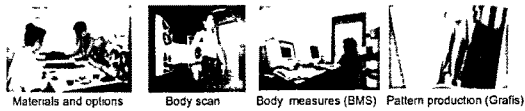


Fig. 6. MTM process to diminish cut-price selling of shops and returning rates at mail order companies

체별 Brand 차이에 따른 치수 차이를 극복할 수 있고, 보다 맞춤새가 뛰어난 의류제품 생산이 가능하다는 것이다.

[Fig. 6]은 TNO에서 수행한 MTM 남성정장 개발을 수행한 KLICT project를 단계별로 보여주고 있다. 즉, Vitronic viro pro scanner로 3D scan, TC²의 BMS를 이용하여 1D measurements 자동추출, 수동보완작업, Grafis CAD로 패턴제작, Slovakia 의류업체 생산라인에서 제작, 소비자 자체평가, 전문가 평가, Fit Test 등 일련의 과정을 보여주고 있는데 특히 [Fig. 6]의 오른쪽 밑에서 보는 바와 같이 다양한 체형을 포함하고 있는 것이 이 프로젝트의



MTM Off-the-shelf
Fig 7 Benefits of MTM overall

특징중 하나이다.

벨기에의 혁신적인 의류업체인 Bivolino(www.bivolino.com)는 50년 이상 셔츠를 제작하여 온 벨기에의 정평 있는 의류업체인데 현재는 인터넷을 통하여 디지털 셔츠 디자인이 가능하도록 하고 있으며, 또한 소비자가 최소한의 치수만을 입력한 후에도 소비자에게 잘 맞는 셔츠를 제

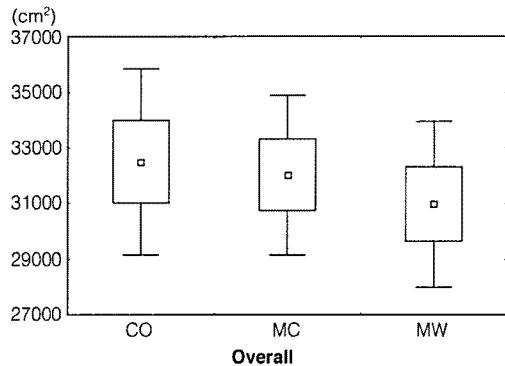


Fig 8. Surface area for each overalls

Table 1. Research on sizing systems developed from TNO

- ▶ Reffelrath & Daanen (2002). Maatvoering DT-KLu (*Sizing of the Air Force Uniforms*).
- ▶ Van Buuren, et al. (2001). Lichaamsmaattabellen voor de kledingbranche-kinderen (*Sizing charts for the clothing industry-children*).
- ▶ Daanen et al (2001). Lichaamsmaattabellen voor de kledingbranche-vrouwen (*Sizing charts for the clothing industry-females*).
- ▶ Daanen, et al (2001). Lichaamsmaattabellen voor de kledingbranche-mannen (*Sizing charts for the clothing industry-males*).
- ▶ Reffelrath & Daanen. (2001) Maatsystemen van Overalls (*Sizing systems of overalls compared*).
- ▶ Reffelrath & Daanen (2001). Maatvoering van Messkleding (*Sizing of Mass clothing*).
- ▶ Daanen & Krul. (1999). Kledingmaten van reservisten (*Clothing sizes of military reserves*).
- ▶ Daanen. (1998). Automatische kledingmaatbepaling bij de KL (*Automatic clothing size determination for the Royal Netherlands Army*)

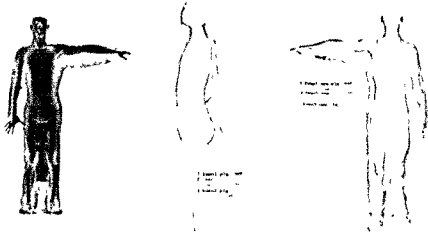


Fig. 9. Frontal and transversal view of draped overalls

공하고 있다. TNO는 벨기에의 재정 지원 하에 이러한 Bivolino사와 MTM 블라우스도 현재 개발 중이다.

TNO에서는 또한 overall을 대상으로 세 가지 다른 종류 즉, MTM, 기성복, 대량주문생산복(Mass Customization)를 비교하기 위하여 스캔 결과와 주관적 평가에 의한 맞춤새 평가 등을 살펴본 바 있다. 그 결과 [Fig. 7]에서 보는 바와 같이 MTM overall이 가장 맞춤새도 뛰어나고 부피 및 표면적이 작은 것으로 평가되었으며, [Fig. 8]에서 보는바와 같이 원단량도 가장 적게 소요되는 것으로 나타났다(Hin and Daanen, 2001).

[Fig. 9]는 3가지 각기 다른 overall들의 착용 상태와 피부 사이의 간격 차이를 잘 보여주고 있다. 여기에서는 transversal cut과 frontal cut을 잘 보여주고 있는데 이러한 자료 분석을 통하여 내재된 부피, 통풍 패턴 등의 산출도 가능하지만 [Fig. 9]의 가운데 그림에서 보는 것처럼 착용한 의복 종류에 따른 인체 부위별 정보 파악이 가능하게 된다. 즉 부위별로 더 튀어나오거나 늘어지고 있는 부분 등 다양한 정보 파악이 가능하게 되므로 [Fig. 9]에서 보는 바와 같이 등과 엉덩이 부분에서 많이 튀어나오고 옷이 늘어지는 것을 알 수 있으며 이러한 정보를 이용하여 불필요한 여유량 등을 없애주고 맞춤새가 더욱 뛰어난 의복 제작에 필요한 정보를 얻을 수 있게 된다.

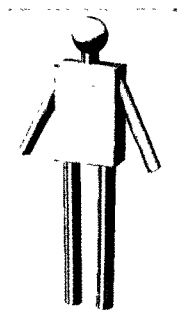


Fig. 10. Calibration device for calculating surface area

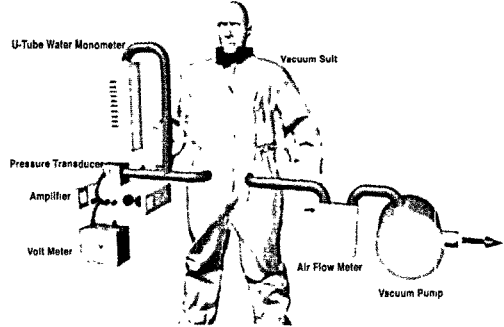


Fig 11 Set-up of the vacuum suit method

3.4 Body Surface Area

표면적 분석 결과는 인체의 화상부위를 파악하거나 위해 물질로부터의 노출 및 접촉면적 파악, 모델링 등 많은 분야에서 그 활용범위가 점점 확대되고 있다. TNO에서는 [Fig. 10]에 제시된 바와 같이, 표면적 1.564 m²인 캘리브레이션 장비와 3D 스캔후 산출된 표면적을 비교한 결과, 0.012 m² (0.7%)의 차이에 그치는 것을 검증한 바 있다.

[Table 2]는 기준에 사용해 오던 각기 다른 방법들을 적용한 표면적 산출 결과를 보여주고 있다(Tan *et al.*, 2003). 여기에서는 각기 다른 방법에 의한 표면적 산출의 평균뿐만 아니라 스캔 결과와의 차이도 같이 볼 수 있는데, DuBois에 의한 방법이 3D 스캔 결과와 가장 근접하게 나타난 것을 알 수 있다.

3.5 Clothing Volume

인체와 의복 사이의 부피는 특히 모델링 등을 하는데 매우 중요한 자료로 활용된다. TNO에서는 이러한 의복내 부피를 결정하는 기존의 대표적인 세가지 방법들인 vacuum suit 이용법, 3D 분석법, cylinder 방법들을 비교 연구한 바 있다. 그 결과 3D 스캔 결과로부터 얻어진 부피 산정이 가장 적합한 것으로 나타났다(Daanen *et al.*, 2002). [Fig. 11]에서는 이러한 비교 연구를 위한 vacuum suit의 장착 상태를 잘 나타내 주고 있고, [Fig. 12]에서는 인체, 셔츠,

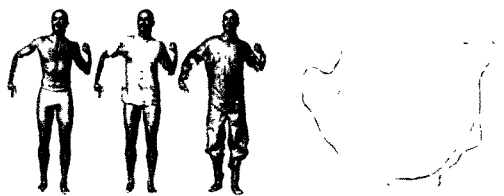


Fig. 12. Air volume determination from 3D scan

Table 2. Surface area determined by different methods

| subject | sex | age | stature (cm) | weight (kg) | DuBois | Mitchell | Jones | Haycock | Takai | Boyd | Scans |
|------------|-----|-----|-----------------|----------------|--------|----------|-------|---------|-------|-------|-------|
| 1 | f | 22 | 169 | 59 | 16704 | 17865 | 17873 | 16573 | 14376 | 18106 | 16865 |
| 2 | m | 22 | 174 | 78 | 19212 | 20236 | 19892 | 19484 | 16714 | 23579 | 19171 |
| 3 | f | 26 | 184 | 92 | 21464 | 22363 | 21462 | 21766 | 18900 | 27578 | 21332 |
| 4 | m | 31 | 179 | 82 | 20026 | 21004 | 19978 | 20214 | 17524 | 24653 | 19892 |
| 5 | f | 21 | 168 | 60 | 16797 | 17953 | 17817 | 16731 | 14434 | 18463 | 16657 |
| 6 | m | 26 | 168 | 53 | 15982 | 17183 | 17611 | 15677 | 13718 | 16425 | 15633 |
| 7 | f | 50 | 170 | 67 | 17704 | 18811 | 18691 | 17773 | 15278 | 20366 | 17742 |
| 8 | m | 50 | 174 | 91 | 20611 | 21557 | 20999 | 21264 | 18021 | 27436 | 20130 |
| 9 | f | 49 | 162 | 105 | 20801 | 21737 | 21597 | 22307 | 18273 | 31256 | 20473 |
| 10 | m | 42 | 186 | 84 | 20869 | 21801 | 20165 | 20846 | 18412 | 25318 | 20185 |
| 11 | m | 8 | 147 | 33 | 11870 | 13297 | 13340 | 11548 | 9734 | 10517 | 11621 |
| Mean | | 32 | 171 | 73 | 18367 | 19437 | 19038 | 18562 | 15944 | 22154 | 18155 |
| Mean diff. | | | | | 213 | 1282 | 884 | 408 | -2210 | 3999 | 0 |
| SD diff. | | | | | 240 | 250 | 640 | 612 | 259 | 3386 | 0 |

커버를 착용자의 3D 스캔 결과를 차례로 보여주고 있으며, 특히 오른쪽 아래에서는 이러한 순서대로 가슴부위에서의 단면도를 잘 나타내 주고 있다.

3.6. Radial Difference

[Fig. 13]에서는 같은 피험자를 연속하여 두 번 스캔한 후 가슴과 등 부분에 맞추어 두개의 스캔 결과를 같이 겹쳐서 분석하는 것을 보여 주고 있다. 여기에서 밝은 부분은 겹쳐진 부분의 차이가 1cm 이내인 부위를 나타내고 있고, 진한색 부분은 차이가 1cm를 넘는 부위를 나타내고 있다.

보통 3D scan 결과는 주로 1set를 가지고 분석에 활용하는데 2set를 같이 이용하게 되면 그 활용범위는 더 넓어지게 된다. 즉 정지시와 동작시의 비교, 인체와 착의 상태

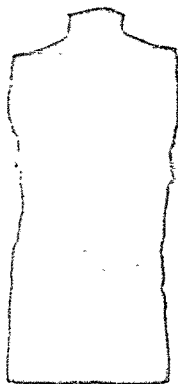


Fig. 13. Radial differences of two consecutive 3D scans of a human torso

비교 등으로 의복의 맞춤새 평가 및 많은 다른 세부적인 설계 방안 등에 활용할 수 있게 된다. 또한 이로 인하여 각 피험자간의 차이 파악 또한 가능하다.

이러한 연속적인 2세트의 스캔 결과로 인체의 자세 및 동작에 따른 변화 등의 파악도 가능한데 허리 아래 부분에서는 그 차이가 1cm를 넘어서고 있고 이는 자세에 변화에 따른 엉덩이 부분의 굴곡의 차이를 잘 나타내 주고 있다. 또한 양쪽 어깨 부분에서는 호흡에 따른 차이를 보여주고 있다. 이러한 방법으로 임신 개월 수에 따른 변화의 차이도 파악이 가능하며, 비만의 증감, 노화 및 질병에 따른 차이 파악도 가능하게 된다(Robinette *et al.*, 2004).

3.7 특수복을 위한 3D 활용

[Table 3]은 3D 스캔 데이터를 특수복 개발에 활용한 연구 결과들이다(Cable and Daanen, 2002). 특히 위해 화학 물질로부터 인체를 보호하기 위하여 군에서 요구하는

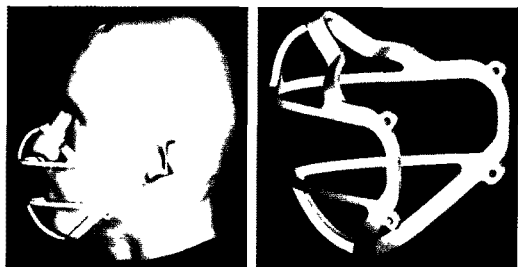


Fig. 14. 3D scanning for product design - A prototype of a new biocap

Table 3. Application of 3D scanned data for protective clothing systems

- Brandsma & Daanen. (2002). Maatvoering van handschoenen (*Fit of gloves*)
- Cable & Daanen (2002) The design and fit evaluation of a biological protective half face mask.
- Cable & Daanen (2002). Ergonomic Factors affecting the design of a new respirator.
- Daanen & Reulink. (2002). Pasvorm van petten (Fit of hats).
- Daanen (1999) Pasvorm van de Gentex jachtvliegerhelm met het Viper en ITT nachtzichtstelsysteem (*Fit of the Gentex flight helmet with Viper and ITT night vision goggles*).
- Krul & Daanen. (2000). Lichaamsmaten van recruten (*Body dimensions of military recruits*).
- Van de Water, *et al* (2000). Anthropometric helmet design
- Van de Water, *et al*. (1999) Anthropometric design data for the Craft head protection system

정밀 마스크를 개발하기 위하여 TNO 에서의 3D 스캔 데이터가 활용된 바 있는데, 이 연구의 주된 목적은 군인들의 안면부중 어느 부위가 최소 변량을 지니는지 파악하여 최소한의 사이즈 개수로 가능한 많은 군인을 커버하면서 위해 물질로부터 최대한 안전하게 보호하기 위함이었다. 그 결과 [Fig. 14]에서 보는 바와 같은 Frame이 개발되었는데 현재 TNO에서만 그 prototype이 가능하다.



Fig. 15. Validation of man models for Boeing 3D scan(blue area) / human model (green area)

3.8 Digital Human Models

[Fig. 15]는 Boeing을 위한 앉은 자세에서 TNO의 digital human model과 3D 스캔 결과에 대한 비교인데 그 차이를 시각적으로 쉽게 파악할 수 있다. 즉, [Fig. 15]에서 보는 것처럼 현재 이 모델의 어깨 부분이 상대적으로 너무 넓게 나타난 것을 잘 파악할 수 있다 (Suikerbuik *et al.*, 2004).



Fig 16. Participating organizations in WEAR to provide world wide resource of anthropometric database (<http://OVRT.NIST.GOV/Projects/wear>)

3.9. 국제규격 제정

TNO는 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)의 WEAR(World Engineering Anthropometry Resource)에 3D 인체계측 데이터 베이스를 제공하고 있다. WEAR는 전세계에 걸친 인체계측 데이터 베이스를 제공하기 위한 국제 공동 노력의 결과이며, 참여기관들은 TNO를 비롯하여 [Fig. 16]에 제시된 바와 같다. 특히 여기에서 NIST는 인체계측 전문가들과 규격 제정자들이 참고자료로 활용할 수 있도록 AnthroSources를 제공하고 있다.

또한 TNO Human Factors는 3D 인체계측과 관련된 ASTM 및 ISO 규격제정 작업에 활발히 참여하고 있는데 TNO Human Factors에서는 ISO Technical Committee 159 Ergonomics-SubCommittee 3 Anthropometry and Biomechanics와 CEN Technical Committee 122 Ergonomics-Working Groups 1 Anthropometry 및 4 Biomechanics에 대한 참여로 anthropometric measure-

ments과 databases, body templates, computer manikins 등의 분야에서 국제 규격 제정 및 개정에 활발히 기여하고 있다.

4. 결 론

3D 관련 연구는 공학 및 과학적 기술이 뒷받침 될 때 더욱 효율적으로 활발하게 진행될 수 있고, 이를 바탕으로 의류 분야에서는 그 응용 분야를 폭넓게 꾸준히 개발할 수 있다. 그런 면에서 TNO에서는 매우 다양한 지식 기반을 갖는 많은 전문가들이 소속해 있는 연구 기관이므로 학제간 연구가 매우 효율적으로 수행되고 그 연구 결과들이 매우 활발하게 나오고 있는 것을 알 수 있었다.

TNO에서는 비교적 일찍이 3D 인체계측 사업인 Ned-Scan Project를 주관하여 수행하였고 그 결과를 의류산업에 적극적으로 활용될 수 있는 방안을 꾸준히 연구하여 제시해 왔기 때문에, 관련 기술 개발 및 응용에 대한 연구 결과가 매우 폭넓게 다각도로 제시되어 왔고 현재도 수 많은 관련 연구가 진행 중이다. 보고를 통하여 제시된 3D 스캔 인체계측 디지털 기술 및 응용 결과들이 국내 기성복, MTM 의복, 특수복 등 의복구성 분야에서 다양하게 활용될 수 있기를 바란다.

끝으로 3D 관련 연구 결과 및 자료 제공에 협조를 아끼지 않은 Dr. Andrea Hin 등 TNO의 많은 분들께 감사를 드린다.

참 고 문 헌

- Brandsma, M. G., & Daanen, H. A. M. (2002). Maatvoering van handschoenen (Fit of gloves). TM-02-001.
- Cable, D., & Daanen, H. A. M. (2002) The design and fit evaluation of a biological protective half face mask. Report TM-02-A012.
- Cable, D. R. M., & Daanen, H. A. M. (2002). Ergonomic Factors affecting the design of a new respirator. Report TM 02.
- Daanen, H. A. M (1998) Automatische kledingmaatbepaling bij de KL (Automatic clothing size determination for the Royal Netherlands Army. TNO TM-98-M033.
- Daanen, H. A. M. (1999). Pasvorm van de Gentex jachtvliegerhelm met het Viper en ITT nachtzichtsysteem (Fit of the Gentex flight helmet with Viper and ITT night vision goggles). Report TNO-TM-99-A084.
- Daanen, H. A. M., & Claessens-De Voogd, L. (2001). Massa-individualisatie in de kledingindustrie (Mass customization in the clothing industry). *Unitex 2*, 52-54.
- Daanen, H. A. M., Hamoen, J., Hacquebord, R., Berlage, C. W., Van Buuren, S., Van Osch, M. A., Criete, M., Rijs, R. A. A. H. M., & Bakker, M. M. (2001). Lichaamsmaattabellen voor de kledingbranche-vrouwen (Sizing charts for the clothing industry-females). Report TM-01-C041a.
- Daanen, H. A. M., Hamoen, J., Hacquebord, R., Berlage, C. W., Van Buuren, S., Van Osch, M. A., Criete, M., Rijs, R. A. A. H. M., & Bakker, M. M. (2001). Lichaamsmaattabellen voor de kledingbranche-mannen (Sizing charts for the clothing industry-males). Report TM-01-C041b.
- Daanen, H. A. M., Hatcher, K., & Havenith, G. (2002). Determination of clothing microclimate volume. 665-668. *Environmental Ergonomics X. Papers from The 10th International Conference on Environmental Ergonomics*. Fukuoka, Japan, 23-27 September.
- Daanen, H. A. M., & Krul, A.J. (1999). Kledingmaten van reservisten (Clothing sizes of military reserves). TNO-TM 1999-M55.
- Daanen, H. A. M., & Krul, A. J. (2001). Pasvorm van petten, mutsen en handschoenen (Fit of hats and gloves). Report TM-01-A013.
- Daanen, H. A. M., & Krul, A. J. (1997). Reliability of circumference estimation based on depth and width of the hip. Report TNO-TM 1997 A-88.
- Daanen, H. A. M., & Reulink, H. G. B. (2002). Pasvorm van petten (Fit of hats). In: *Ergonomie: Succesvolle Praktijkvoorbeelden*. Nederlandse Vereniging voor Ergonomie. Uitgeverij Kerckebosch, Zeist.
- Daanen, H. A. M., & Robinette, K. M. (2003). A test object for 3D whole body scanners. *Proceedings of IEA conference 2003*, Seoul.
- Hin, A. J. S., Adema, M. M., & Daanen, H. A. M. (2001). Van confectie naar maatwerk: de overall opnieuw gesneden (From mass confection to made-to-measure: reconstructing the overalls). Report TM-00-D014.
- Krul, A. J., & Daanen, H. A. M. (2000). Lichaamsmaten van recruten (Body dimensions of military recruits). TNO-TM 00-M026
- Reffeltrath, P. A., & Daanen, H. A. M. (2002). Maatvoering DT-KLu (Sizing of the Air Force Uniforms). Report TM-02.
- Reffeltrath, P. A., & Daanen, H. A. M. (2001). Maatsystemen van Overalls (Sizing systems of overalls compared). Report TM-01-A065.
- Reffeltrath, P. A., & Daanen, H. A. M. (2001). Maatvoering

- ing van Messkleding (Sizing of Mass clothing). Report TM-01-A062.
- Robinette, K. M., Daanen, H. A. M., & Zehner, G. F. (2004). Three dimensional anthropometry. In: Delleman, N. J., Haslegrave, C. M., Chaffin, D. B. (Eds.), *Working Postures & Movements - Tools for evaluation and engineering* (pp. 29-50). Taylor & Francis.
- Suikerbuijk, C. A. M., Tangelder, J. W. H., Daanen, H. A. M., & Oudenhuijzen, A. J. K. (2004). Automatic feature detection in 3D human body scans, *Digital human modeling conference proceedings*, Detroit.
- Tan, K. T., Brandsma, M. G., & Daanen, H. A. M. (2001) Body surface area determination using 3D whole body scanners. *Proceedings Conference Numerisation 3D*, Paris.
- Van Buuren, S., Daanen, H. A. M., Hamoen, J., Hacquebord, R., Berlage, C. W., Van Osch, M A., Crietee, M., Rijs, R. A. A. H. M., & Bakker, M. M. (2001). Lichaamsmaattabellen voor de kledingbranche-kinderen (Sizing charts for the clothing industry-children). Report TM-01-C041c.
- Van de Water, G. J., Daanen, H. A. M., & Tan, T. K. (1999). Anthropometric design data for the Craft head protection system. Report TNO TM-99-C045.
- Van de Water, G. J., Daanen, H. A. M., & Lotens, W. A. (2000). Anthropometric helmet design. In: Werner, J., Hexamer, M. (Eds): *Environmental Ergonomics IX*. Shaker Verlag Aachen. pp. 365-368.

홍성애

이화여대 의류직물학과(학사,석사)
 Kansas State University(PhD)
 IER, Post Doctor
 TNO Human Factors, 방문연구
 현재 한성대학교 의류패션산업 교수

Hein Daanen

Vrije University Amsterdam (PhD)
 Past president of the Dutch Ergonomics Association
 Head of the Department of Performance & Comfort, TNO Human Factors(responsible for design, execution and management of research projects in the field of 3D anthropometry, thermal physiology, work performance and ergonomics)
